

UNIVERSITA KARLOVA V PRAZE

Přírodovědecká fakulta

Ústav pro životní prostředí

Ochrana životního prostředí



VÝZNAM PŮDNÍ KRUSTY PRO EROZI VÝSYPKOVÝCH PLOCH

SOIL CRUST AND ITS ROLE IN EROSION OF POST MINING SITES

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Bc. Jana Fiedlerová

Vedoucí diplomové práce: Doc. Mgr. Ing. Jan Frouz, Csc.

Září 2012

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval/a samostatně s využitím uvedené literatury a informací, na něž odkazuji. Svoluji k jejímu zapůjčení s tím, že veškeré (i přejaté informace) budou řádně citovány. Rovněž prohlašuji, že předložená diplomová práce je totožná s elektronickou verzí vloženou do SIS.

V Praze

Bc. Jana Fiedlerová

Na tomto místě bych ráda všem, kteří se podíleli na této práci. Velký dík patří Doc. Mgr. Ing. Janu Frouzovi, Csc., který moji práci vedl, za jeho připomínky, podněty a za umožnění velmi naučného studijní pobytu na Brandenburg University of Technology (BTU). Dále bych ráda poděkovala Dr. Thomasu Fischerovi a Dr. Wolfgangovi Wiehe z BTU za pomoc při měření parametrů, jejich přátelský přístup. Ráda bych také poděkovala Mrg. Jiřímu Cejpkovi, Dis. za pomoc na výsypce, firmě GEO-CZ s.r.o. za zhotovení 3D modelů, Tomáši Königovi za podporu, díky patří celé mé rodině, přátelům a všem, kteří mne podporovali.

Obsah

1	Abstrakt	8
2	Abstract.....	9
3	Úvod a cíle práce	10
4	Literární přehled	11
4.1	Těžba nerostů a její vliv na životní prostředí	11
4.2	Těžba hnědého uhlí v Severních Čechách – oblast Podkrušnohoří	12
4.3	Výsypky jako antropogenní útvar	12
4.3.1	Vliv povrchové těžby na životní prostředí.....	14
4.4	Eroze.....	15
4.4.1	Větrná a vodní eroze	16
4.5	Funkce půdy	18
4.6	Půdní krusty.....	19

4.6.1	Základní rozdělení krust	19
4.6.2	Biologické půdní krusty	19
4.6.2.1	Organismy biologických krust.....	21
4.6.2.2	Biologické krusty a jejich vliv na půdu a erozi	21
4.6.3	Abiotické krusty	22
4.6.3.1	Fyzikálně-chemické krusty a jejich vliv na půdu a erozi	23
4.6.4	Úloha v rozvoji ekosystému, vznik, výskyt	24
4.6.5	Měření parametrů u abiotických krust	25
5	Materiál a Metodika.....	26
5.1	Charakteristika zájmového území	26
5.2	Popisy odebraných vzorků krust a příslušných vytyčených čtverců.....	28
5.3	Terénní metody	32
5.3.1	Měření eroze pomocí erozních kolíků	32
5.3.2	Využití 3D technologií.....	32

5.4	Laboratorní metody	34
5.4.1	Odběr vzorků	34
6	Výsledky.....	36
6.1	Měření eroze pomocí erozních kolíků.....	36
6.2	Stereoskopie 3D krusty č. 1.....	37
6.3	Sekvenovací elektronová mikroskopie krust a identifikace dominantních organismů biotických krust	40
6.4	Water Drop Penetration Time	43
6.5	Infiltrace	44
7	Diskuze	45
8	Závěr.....	48
9	Seznam použité literatury	49

1 Abstrakt

Předmětem studie byly půdní krusty nacházející se na výsypkách po těžbě uhlí u Sokolova. Byly porovnávány krusty nebiologické, fyzikálně-chemického původu a biologické krusty, které jsou tvořeny řasami, mechy a lišejníky. Jednotlivé vzorky krust se podrobily laboratorním analýzám Water Drop Penetration Time, Sekvenovací elektronová mikroskopie, infiltrace vody a také terénním studiím, kde bylo provedeno měření pomocí erozních kolíků, povrch krust byl fotografován a vyhodnocen stereoskopicky.

Výsledky poukazují, že krusty fyzikálně-chemického typu vykazují výrazně větší erozi, naopak krusty biologické jsou erozi méně náchylné, tento jev patrně souvisí s mechanickým zpevňováním povrchu.

Klíčová slova: Půdní krusta, Výsypky, Těžba, Infiltrace, Eroze

2 Abstract

The object of the study was the soil crust, found on spoil tips after coal mining near Sokolov. Certain type of crusts were compared; non-biological, physico-chemical origin and biological crusts that are made up of algae, mosses and lichens. Individual samples of the crusts underwent the laboratory analysis - Water Drop Penetration Time, Sequencing Electron Microscopy, water infiltration, and field studies, where the measurements were taken by using the erosion pins, the surface of the crusts was evaluated and photographed stereoscopically.

The results indicate that the the physical-chemical type of crusts show significantly greater erosion, while the biological crusts are less susceptible to erosion, this phenomenon is probably related to the mechanical firming of the surface.

Keywords: Soil crust, Mining soil, Mining, Infiltration, Erosion

3 Úvod a cíle práce

Půdní krusty se v posledních letech staly předmětem mnohých studií (Belnap a Lange, 2003; Bowker 2007; Kovář et al., 2009; Janatková, 2011). Místa, kde se nacházejí krusty jsou mnohdy neprobádaná a také z mnohého lidského pohledu neatraktivní. Těmito lokalitami jsou v České republice místa v okolí výsypek po těžbě uhlí, kde panují velmi extrémní podmínky.

Diplomová práce se zaměřuje na vliv půdní krusty na erozi výsypkových půd. Eroze je významným problémem iniciálního rozvoje ekosystému, za což lze považovat i výsypkové plochy. Půdní krusty mohou pomoci rychlé obnově ekologických funkcí zejména snížením eroze, povrch chrání a zpevňují. Krusty lze rozdělit na biologické (fototrofní společenstva) a nebiologické (fyzikálně-chemického původu).

Cílem práce bylo porovnat i biologické a nebiologické krusty z hlediska vodní eroze, ta byla měřena pomocí erozních hřebů a 3D stereoskopická technologie. Měření eroze bylo porovnáno s dalšími parametry krust charakterizujícími jejich povrch a infiltraci. Měření infiltrace, Sekvenovací elektronová mikroskopie (SEM), Water Drop Penetration Time (WDPT).

4 Literární přehled

4.1 Těžba nerostů a její vliv na životní prostředí

Těžba nerostů se pojí s nenávratným poškozováním a ničením reliéfu krajiny včetně významných krajinných dominant (např. Štýs, 1990). Mezi hlavní negativní stránky těžby patří přímé ničení lokalit výskytu ohrožených a zvláště chráněných organismů, negativní ovlivňování krajiny morfologicky cizorodými útvary výsypek neupotřebitelných zemin a hornin, vysoká prašnost, hlučnost, vibrace, seismicita, úbytek lesních ploch, jakož i další problémy spojené s přepravou vytěžené suroviny (AOPK, 2012).

Jako kladné stránky těžby lze jmenovat např. odkrytí významných geologických jevů (AOPK, 2012) či navrácení sukcese do iniciálního stadia - případně vytvoření příležitostí pro hnízdění některých druhů ptáků či obojživelníků (Frouz et al., 2007).

Ekologicky optimální je pak využití vytěžené suroviny v místních podmínkách při různých stavbách (minimalizace vnášení cizorodých substrátů do prostředí CHKO) (AOPK, 2012).

4.2 Těžba hnědého uhlí v Severních Čechách – oblast Podkrušnohoří

Těžba uhlí je jedním z klíčových průmyslových odvětví, které přispívají k hospodářskému rozvoji země, ale zhoršují kvalitu životního prostředí (Tiwary, 2001).

Podkrušnohoří se stalo od 60. let 20. století oblastí, kde životní prostředí člověka bylo nejvíce devastováno. Důvodem vysokého postižení oblasti byla výstavba a provoz elektráren spalujících hnědé uhlí, vybudování chemických komplexů a dalších průmyslových podniků. Všechny tyto aktivity byly závislé na uhlí, které se těžilo v Severočeském hnědouhelném revíru a jeho těžba se až do 90. let zvyšovala (Vráblík et al., 2002). Nejrozsáhlejší ložiska hnědého uhlí v České republice se nacházejí v její západní a severní části pod Krušnými horami. Tato krajina je narušena rozsáhlými hnědouhelnými povrchovými lomy a výsypkami, které vznikají z vytěženého nadloží uhelných slojí (Broumová et al., 2007)

4.3 Výsypky jako antropogenní útvar

Po dlouho dobu byl zemský povrch modelován pouze přírodními pochody. Poté, co se na Zemi vyvinul člověk, se do modelování reliéfu promítlo antropogenní ovlivnění zemského povrchu (Svoboda, 2011). Vliv lidské činnosti na georeliéf se projevuje převážně třemi základními způsoby, které uvádí Svoboda (2011) ve své DP za užití klasifikace podle Demka (1984).

- přímým nebo nepřímým ovlivňováním přírodních geomorfologických pochodů, a to jak jejich zrychlováním, tak i zpomalováním
- neplánovaným (nezáměrným) vytváření povrchových tvarů s přispěním přírody (např. pokles povrchu poddolovaných území)

- plánovitým (záměrným) vytvářením nových antropogenních tvarů antropogenními pochody, tj. antropogenní degradací, planací, akumulací a rekultivací (Svoboda, 2011).

Vznik hald se tedy řadí do třetí skupiny, což znamená, že výsypky vznikly antropogenními pochody a jsou důsledkem povrchové nebo hlubinné těžby nerostných zdrojů. Tento antropogenní tvar má významný vliv na okolní reliéf a celkovou geomorfologii krajiny, v krajině vytváří neobvyklý tvar, který na první pohled do přírodního prostoru nepatří. Velké výsypky se stávají významným a dobře viditelným prvkem krajiny. Pomocí odborníků lze dosáhnout trvalého propojení hald s přirozeným okolím v co nejpříjemnější podobě. K tomuto kroku slouží plánovitě zakládání hald a jejich následná technická a biologická rekultivace (Svoboda, 2011). V sokolovské oblasti jsou prováděny rekultivace lesnické, zemědělské, vodní a ostatní (Řehounek et al., 2010). Základem těchto rekultivací je rekultivace technická, která předchází vlastní rekultivaci biologické (tj. zemědělské nebo lesnické). V rámci technické rekultivace jsou prováděny práce na úpravě terénu vytvářením ploch s požadovanými sklony, odvodnění pomocí otevřených příkopů, u vodních nádrží těsnění dna a hospodárnice (Frouz et al., 2007).

V prostoru výsypek není výjimkou budování naučných stezek, koupališť (zatopení lomů), rybníků, které mohou sloužit k rybolovu a uvažuje se i o myslivosti (Frouz et al., 2007).

4.3.1 Vliv povrchové těžby na životní prostředí

V severních Čechách představuje plocha poškozené krajiny povrchovou těžbou stovky km² a dochází zde úplnému odstranění vegetačního krytu. Vlastní povrchové doly se výrazně podílí na změně vodního cyklu, došlo zde k přeložení potoků, odvodnění rozsáhlé plochy a v neposlední řadě i výrazný pokles hladiny vod (Hezina, 2001). Na těchto odvodněných a vegetace zbavených plochách se sluneční energie mění převážně na teplo, protože se nemůže vázat na vodní páry při výparu vody (Broumová et al., 2007). Přirozená sukcese probíhá na výsypce velmi pomalu a je podmíněna fyzikálními a chemickými procesy probíhajícími ve výsypkovém substrátu. Půda bez souvislého vegetačního krytu je vystavena vysokým teplotám a velkému kolísání půdní vlhkosti, tyto procesy pak vedou k mineralizaci a ztrátě důležitých živin (Broumová et al., 2007; Sarma 2006). Vlivem všech výše uvedených faktorů zde dochází k výrazné erozi. Povrchová těžba se řídí legislativou a to Zákonem o ochraně půdy, který je součástí zákona 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny, dále v zákoně 334/1992 Sb. o ochraně zemědělského půdního fondu a v neposlední řadě v zákoně 289/1995 Sb., o lesích (MŽP, 2012). Eroze je obecně považována za značný ekologický problém (Pimentel, 2006).

Jakkoliv přináší těžba nerostů negativní dopady na životní prostředí, vytváří též neopakovatelnou příležitost pro studium řady přírodních procesů (např. Řehounek et al., 2010). Přítomnost mnoha druhů na výsypkách ukazuje, že o ekologii řady druhů máme nedostatečné a zkreslené informace. Týká se to zejména druhů považovaných dosud za ukazatele nenarušených přírodních stanovišť. Z tohoto pohledu lze velkoplošnou povrchovou těžbu uhlí považovat za rozsáhlý krajinný experiment, který přináší i mnoho vědeckých poznatků, jinak nedosažitelných (Frouz et al., 2007).

4.4 Eroze

Eroze je jedním z významných negativních vlivů působících na půdu. Při erozi dochází k odnosu půdních částic a tím i fyzikálního poškození půdy (Janeček, 2002; Janeček et al., 2007). Lidská činnost může dramaticky akcelarovat přirozeně pozvolně probíhající proces eroze, v který je za normálních podmínek kompenzován zvětráváním substrátu a tvorbou nové půdy. Eroze je ovlivňována kombinací faktorů jako je sklon a délka svahu, charakter klimatu, využití půdy, vegetační kryt a půdní vlastnosti (textura, struktura, mocnost organických horizontů, obsah organické hmoty) (MŽP, 2012). Eroze snižuje mocnost ornice (Montgomery, 2007), v extrémních případech je zcela zlikvidována orniční vrstva i podorničí. Omezují se ekologické funkce půdy. Rychleji dochází k poškození povrchových a podzemních vod. Snižuje se zadržování vody (retence) a regulační funkce půdy v hydrosféře. Omezuje se produkční schopnost půdy tj. schopnost produkce biomasy (Holý, 1994). Neméně důležité jsou i vedlejší účinky eroze. Jedná se o zanášení toků a nádrží, obohacování vody živinami (MŽP, 2012).

Z geologického hlediska termínem eroze označujeme exogenní geologické procesy, modelující zemský povrch a dotvářející rozmanitou topografii. Eroze je podmíněna intenzitou zvětrávání, které lze rozdělit na mechanické, mnohonásobně rychlejší než zvětrávání chemické. Objemy mechanicky zvětralých hornin převyšují objemy produktů chemického zvětrávání. V posledních stoletích významně zasahují do těchto procesů i antropogenní vlivy (zemědělská činnost, odlesňované, těžba surovin, průmyslové exhalace) (Kachlík a Chlupáč, 2005).

4.4.1 Větrná a vodní eroze

Větrná eroze, se zpravidla projevuje dvěma způsoby, tj. abrazí a deflací. Abrazie způsobuje obrušování skalního podkladu větrem drobnými zrny a způsobuje tak typické povrchové skulptury. Deflace se projevuje odvíváním drobnějších zrn prachu a písku. Vítr odnáší jemné částice nezpevněného sedimentu a postupně vytváří mělké deprese (Kachlík a Chlupáč, 2005).

Vodní eroze je proces, skládající se ze dvou částí: uvolnění částic půdy z půdního matrixu a jejich transport. Proces rozrušování povrchových agregátů a uvolňování částic půdy probíhá vlivem dopadajících dešťových kapek a je tedy závislý na intenzitě deště (Kolářková a Pařízková, 2002). Vodní erozi lze rozdělit na erozi vodních toků a dešťový ron. Srážková voda stéká po svazích a plošně modeluje zemský povrch. Tektonicky porušené, zvětralé horniny jsou účinky dešťového ronů přemísťovány, akumulují se u paty svahů, odkud jsou transportovány většími vodními toky. Chemicky rozpustné horniny též podléhají postupně erozi rozpouštěním, na jejich povrchu se tvoří erozní rýhy. Velmi produktivním morfologickým činitelem jsou přívalové deště, které v oblasti bez vegetace mají silnou erozivní schopnost a vytvářejí v reliéfu hluboké rýhy až kaňony (Kachlík a Chlupáč, 2005).

Nejčastěji používanou metodou pro stanovení intenzity vodní eroze je tzv. Univerzální rovnice USLE - (Universal Soil Loss Equation) (Wischmeier a Smith, 1978):

$$G = R \times K \times L \times S \times C \times P$$

kde:

G je průměrná dlouhodobá ztráta půdy ($t \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$), R určuje erozní účinnost deště. Doporučená průměrná hodnota pro Českou republiku je $R = 20 \text{ MJ} \cdot ha^{-1} \cdot cm \cdot h^{-1}$ (Janeček et al., 2007), závisí na množství srážek a jejich charakteru (velikosti kapek etc.), vyjadřuje účinek srážek na velikost ztráty půdy. K je definován jako ztráta půdy ze standardního pozemku vyjádřená v $t \cdot ha^{-1}$ na jednotku erozní účinnosti deště, vyjadřuje vliv půdních vlastností na velikost ztráty půdy, závisí na textuře, struktuře, propustnosti a obsahu organické hmoty. R závisí na textuře a struktuře půdy, obsahu organické hmoty a míře infiltrace. L je faktor délky svahu, vyjadřuje vliv nepřerušené délky svahu na velikost ztráty půdy erozí, S je faktorem sklonu svahu, vyjadřuje sklonu svahu na velikost ztráty půdy erozí, C je faktor ochranného vlivu vegetace, představují poměr smyvu na skutečném pozemku s pěstovanými plodinami ke ztrátě půdy na pozemku s kypřeným černým úhorem při zachování stejných ostatních podmínek P-faktor účinnosti protierozních opatření, vyjadřuje poměr odnosu ze skutečného pozemku (Dostál et al., 2004, Dostál et al., 2005, Janeček et al., 2007).

Dosažením odpovídajících hodnot faktorů šetřených ploch území do univerzální rovnice se určí dlouhodobá průměrná ztráta půdy vodní erozí v $t \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$ (Janeček et al., 2007).

4.5 Funkce půdy

Půda je svrchní zvětralá vrstva zemské kůry skládající se z rozmělněných a chemicky pozměněných hornin a ze zbytků rostlin a živočichů v půdě i na půdě žijících. Půda je složitý otevřený systém, který se neustále mění a vyvíjí, skládá z anorganické a organické složky, půdní vody a vzduchu (Kachlík a Chlupáč, 2005).

V důsledku složitých vazeb, jichž se půda v ekosystémech účastní, není možné jednoznačně specifikovat jednu nejdůležitější funkci půdy. Půda je základním článkem potravního řetězce a současně substrátem pro růst rostlin, je důležitou zásobárnou vody pro suchozemské rostliny a mikroorganismy a také je filtračním čistícím prostředím, přes které voda prochází (MŽP, 2012).

Mikroorganismy žijící v půdě jsou obrovskou a nedoceněnou zásobárnou genetické informace a umožňují průběh důležitých procesů v ekosystémech. Cyklus vody, uhlíku, dusíku, fosforu, a síry probíhá v půdě prostřednictvím interakcí mikrobiální složky s fyzikálními a chemickými vlastnostmi (MŽP, 2012). Půdní organická hmota je hlavní suchozemskou zásobárnou uhlíku, dusíku, fosforu a síry a bilance a přístupnost těchto prvků je neustále ovlivňována mikrobiální mineralizací a imobilizací (např. Mihaljevič a Moldan, 2000). Půda hraje zcela zásadní a nezastupitelnou roli ve stabilitě ekosystémů a v ovlivňování bilancí látek a energií. Působí jako environmentální pufrální médium, jež mimo jiné zadržuje, degraduje, ale za určitých podmínek i uvolňuje potenciálně rizikové látky. Z půdy pochází mnoho základních složek stavebních materiálů a surovin, současně půda poskytuje prostor pro umístění staveb, pro rekreační činnost a další aktivity (MŽP, 2012).

4.6 Půdní krusty

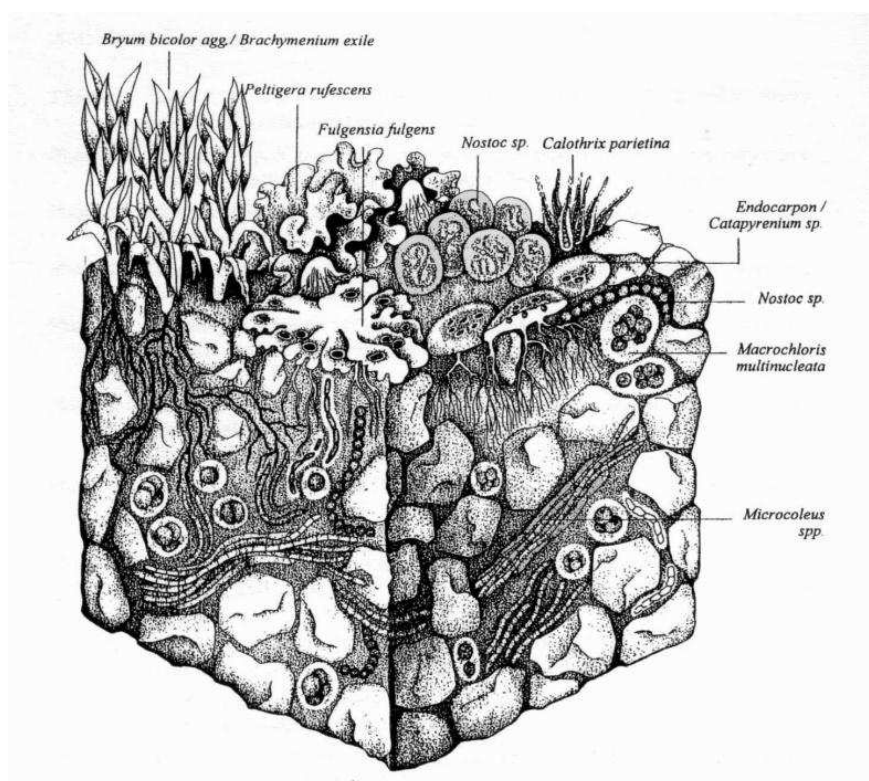
4.6.1 Základní rozdělení krust

Půdní krusta je specifický povrch půdy, který je pokryt živou či neživou vrstvou. Půdní krusty se nejčastěji vyskytují v aridních, semiaridních a suchých prostředích po celém světě (Belnap a Lange, 2003). Obecně dělíme půdní krusty na dva typy podle vzniku, krusty biologické a krusty abiotické (fyzikálně-chemického původu). Abiotická krusta je tenká vrstva se sníženou pórovitostí. Jsou-li přítomny soli, vznikají na povrchu sraženiny, nejčastěji bílé barvy nebo světlého zbarvení. Biologická kůra je společenstvo mechů, lišejníků, sinic a řas rostoucích na povrchu půdy. Oba typy krust mohou do sebe vzájemně zasahovat (Anonymous, 2001).

4.6.2 Biologické půdní krusty

Biologické krusty jsou tvořeny živými organismy, nejčastěji cyanobakteriemi, řasami, sinicemi, lišejníky, mechy a houbami, průřez krustou (Obr. 1). Tato společenstva se nachází těsně nad zemí v řádech milimetrů a dosahují tloušťky až 10 cm, nejčastěji se nachází v rozmezí 0-4 cm (Belnap a Lange, 2003). Biologické krusty se často nachází v aridních oblastech, kde pokrývají povrch, na němž se nevyskytují jiné cévnaté rostliny a to až v 70% (Eldridge a Rosentreter, 1999; Rosentreter a McCune, 2007). Role takových zpevněných povrchů je známa z aridních oblastí jako přirozená prevence větrné a vodní eroze. Krusty na povrchu odkališť mají svou dynamiku určenou především srážkami a vysycháním. Pokud ještě povrch substrátu není kolonizován organismy, zpravidla je při zvýšení vlhkosti

kompaktní a záleží na tom, jaký podíl jemných jílových částic zvyšuje jeho soudržnost. Při vysychání pak puká a odlupují se různě velké polygony v závislosti na textuře a koncentraci solí, které se při převažujícím výparu přesunou k povrchu. Jakmile dojde ke kolonizaci, zejména sinicemi, řasami, lišejníky a mechorosty (Lukešová a Komárek, 1987), fragmentace krusty již do jisté míry přetrvává, její struktura se stává složitější a vzniká tak bohatší nabídka ekologických nik k osídlení dalšími organismy. Také se výrazně snižuje extremita povrchu a to v mnoha parametrech (Kovář et al., 2009).



Obr. 1 – Průřez biologickou půdní krustou – (Belnap a Lange, 2003)

4.6.2.1 Organismy biologických krust

Biologické krusty jsou tvořeny fotosyntetizujícími mikrobiálními organismy a to sinicemi, lišejníky, zelenými řasami a mechy. Jako první se uplatňují vláknité druhy sinic, které svou strukturou (stélkou) velmi dobře dokáží spojit či slepit volné půdní částice dohromady a připravují tak půdy pro vznikající sukcesi (Roger a Reynaud, 1981; Janatková, 2011). Nejčastěji jmenovaným druhem je *Microcoleus* s bohatou vláknitou stélkou či *Nostoc* nebo *Klebsormidium* (Lukešová, 2001). Po zpevnění půdy sinicemi kolonizují krusty lišejníky a mechy, z jejichž zástupců je možné jmenovat nejčastěji se vyskytující lišejníky *Cladonia* a *Peltigera*, z mechů např. *Ceratodon purpureum* (Belnap a Lange, 2003).

4.6.2.2 Biologické krusty a jejich vliv na půdu a erozi

Biologické krusty (Obr. 2) vytváří příhodné podmínky pro kolonizaci dalších organismů a výrazně ji usnadňují. Mohou také rehabilitovat vysoce narušená stanoviště, jsou adaptovány na stresové prostředí (Browker, 2007). V závislosti na vlastnostech půdy mohou biologické krusty zvýšit nebo snížit rychlost infiltrace vody.



Obr. 2 - Biologická krusta

Foto: Bc. Jana Fiedlerová

Lokalita: Velká Podkrušnohorská výsypka, plocha EMA

Zvyšují drsnost povrchu, snižují odtok, čímž se zvyšuje infiltrace a vzniká tak rezervoár vody, kterou mohou rostlin využívat (např. Belnap, 2006).

V semiaridních ekosystémech biologické krusty často obsahují značné množství dusíku, jež je využíváno pro růst ostatních rostlin (Anonymous, 2001) .

4.6.3 Abiotické krusty

Abiotické krusty, vzniklé za působení fyzikálně-chemický jevů, jsou zcela nebiologického původu. Nachází se převážně v aridních oblastech. Zpočátku byly tyto krusty studovány vzhledem k jejich výskytu a negativnímu působení na zemědělských polích (Sumner a Steward, 1992). Krusty často mívají tloušťku menší než 1 mm, mohou ale dosahovat délku až několika cm (Belnap, 2003). Nebiologické krusty vznikají mnoha způsoby. Jak uvádí Belnap (2003) prvním způsobem je dopad dešťových kapek, dále evaporace, sešlap, způsobený zvěří nebo např. automobilovou dopravou. Nejčastěji však půdní krusty vznikají dopadem dešťových na nechráněný povrch. Dopad jednotlivých kapek

narušuje soudržnost povrchu a dochází k uvolňování drobných částeczek půdy, které jsou poté smyty. Při vysychání povrch puká a velmi rychle eroduje. Fyzikálně-chemicky vzniklé krusty mohou být rozdílné, záleží na struktuře a textuře půdního profilu (Sumner a Steward, 1992; Belnap, 2003; Belnap, 2006).

4.6.3.1 Fyzikálně-chemické krusty a jejich vliv na půdu a erozi

Fyzikálně-chemicky vzniklé krusty (Obr. 3) naznačují snížený obsah organické hmoty v půdě a určitý stupeň eroze. Mají velmi nízkou stabilitu, mohou se snadno rozptýlit. Při syčení vodou jsou snadno formovány nárazy kapek (raindrop) či vysoce rozrušovány tekoucí vodou. Krusty utěsňují povrch půdy, snižují míru infiltrace vody a mohou výrazně zvyšovat odtok (Fischer et al., 2010). Fyzikální krusty obecně mají velmi nízký obsah organické hmoty a vyznačují se malou půdní biologickou aktivitou. Kompaktní povrch krust také zabraňuje zakořenění a uchycení semenáčků. Voda, která se v plochých oblastech pokrytých krustou odpařuje, snižuje množství vody dostupné pro rostliny. Fyzikální krusty obecně ochraňují půdu před větrnou erozí (vytvoření kompaktního filmu), naopak nechrání půdu před vodní erozí, bylo prokázáno, že ji zřejmě podporují (Anonymous, 2001; Fischer et al., 2010).



Obr. 3 – Fyzikálně-chemická krusta
Lokalita: Velká podkrušnohorská výsypka, plocha EMA

Foto: Bc. Jana Fiedlerová

4.6.4 Úloha v rozvoji ekosystému, vznik, výskyt

Fyzikální krusty vznikají za předpokladu, že je vyčerpána organická hmota z povrchové vrstvy půdy, půdní agregáty jsou slabé a dešťové kapky jsou schopny zcela rozptýlit půdu do jednotlivých částic, které ucpávají póry, utěsnění povrch a tvoří vrstvu, která je celistvá v suchém stavu (Anonymous, 2001; Spröte, 2010). Fyzikálně-chemická krusta se skládá z mnoha tenkých pásů, které signalizují erozi sedimentu. Fyzikálně-chemické krusty jsou nejčastěji na prachovitojíllových, jílovitých a hlinitých půdách. Lze je také nalézt na písčitých půdách, kde jsou velmi tenké (Fischer et al., 2010). Půdy s vysokým obsahem sodíku, který je snadno rozpustný ve vodě, jsou náchylnější k tvorbě krusty než ostatní půdy. Struktura půdy, vlhkost, teplota, období srážek a historie narušeného místa, to jsou faktory, které do značné míry určují dominantní organismy v půdní krustě (Anonymous, 2001).

4.6.5 Měření parametrů u abiotických krust

Je známo mnoho metod, jakými lze měřit parametry u abiotických krust. Mezi nejúčinnější patří metody na principu infiltrace. Měření infiltrace lze provádět mnoha způsoby, jedním ze způsobů je simulátor umělých dešťových srážek (Sangüesa et al., 2010), nebo laboratorní měření pomocí infiltrometru (Fischer et al., 2010; Osuji, 2010). Metoda se používá především pro krusty abiotické. Další hojně užívanou laboratorní metodou je Water Drop Penetration Time (Dekker et al., 2008). Tato metoda také pracuje na principu infiltrace, ovšem její užití se hodí spíše pro krusty s biotou. Účinnou metodou, která určuje míru růstu krust a dokáže je velmi dobře zmapovat je tvorba stereoskopických fotografií. Díky této technologii je možné velmi přesně zhodnotit míru eroze a vznik či zánik krusty. Metodou, která se též uplatňuje přímo v terénu, je měření pomocí nekorozních erozních kolíků, díky jimž lze změřit míru odnosu zeminy.

5 Materiál a Metodika

5.1 Charakteristika zájmového území

Místem výzkumu byla zvolena oblast Velké podkrušnohorské výsypky na Sokolovsku. Zde se nacházejí antropogenní útvary v podobě výsypek se staly ideální místem k provedení výzkumu. Místní klima je dáno poměrně extrémním režimem, který se řídí mnohačetnými srážkami, následným vysycháním a opakovaným sycením. Panuje zde vodní i větrná eroze. Monitoring proběhl na ploše EMA.

Velká podkrušnohorská výsypka (Obr. 4) se nachází v západních Čechách 3 km severovýchodně od města Sokolov. Od roku 1960 do ní bylo uloženo přibližně 800 miliónů³ m nadložních zemin, její délka činí 8,5 km a šířka 2-2,5 km (Broumová et al., 2007). Se svou rozlohou 1957,10 ha patří k největším v České republice. Pata výsypky leží v nadmořské výšce 445 – 595 m. n. m. a její dva vrcholy dosahují výšky 600 m. n. m.. Hornická činnost a následné ukládání nadložních zemin na celé ploše výsypky byla ukončena roce 2003. Převážnou část ukládaného materiálu tvoří cyprisové jíly usazené na dně třetihorního jezera (Broumová et al., 2007). Na Velké podkrušnohorské výsypce lze nalézt substráty o pH 2,7-8,5, jedná se o jílovité, mírně alkalické substráty tzv. cyprisové série, které jsou pro další rozvoj půdy poměrně příznivé (Frouz et al., 2007).

Výsypky se také podrobují mnohým výzkumům. Jakožto nově vzniklá antropogenní stanoviště nabízí volný prostor pro kolonizaci organismů. Mnohé výzkumy přinesly pozoruhodné vedlejší výsledky, které ukazující, že výsypky mohou hostit celou řadu

vzácných druhů a podporovat tak biodiversitu kulturní krajiny. Jedná se např. o vzácné druhy hub či orchideí, z živočichů lze jmenovat jednoznačně obojživelníky (Frouz et al., 2007).

Na vytyčených plochách se nachází půdní krusty jak biologického tak i nebiologického typu. Hlavním úkolem a cílem bylo monitorovat růst a vývoj krust a především jejich vliv na povrchový odtok. Primárním krokem bylo použití bambusových kolíků, kterými byly ohraničeny čtverce 1m x 1m. Celkem bylo vybráno 9 ploch (čtverců) na ploše EMA. Každá z ploch byla vybírána podle typu vegetace a lokace, tedy některé se nachází na vrcholu výsypky, některé v odtokové plošině a některé přímo na svahu. Pozornost byla také věnována výběru různých typů sukcesních stádií, tedy od naprosto nepokrytých ploch přes mechová společenstva až k travním.



Obr. 4 - Velká Podkrušohorská výsypka

Foto: Bc. Jana Fiedlerová

5.2 Popisy odebraných vzorků krust a příslušných vytyčených čtverců

Ač problematiku ohledně krust řeší mnoho autorů (Belnap a Lange, 2003; Fischer, 2010) striktní rozdělení biologických a abiotických krust nebylo doposud zavedeno. Ve studiu byly tedy jako abiotické krusty zvažovány ty typy krust, na kterých nebyly patrné žádné biologické struktury až do pokrytí biotou do míry 30 %. K přesnému určení 30% byly použity níže uvedené fotografie, které byly rozstříhány na části biotické a abiotické a poté zváženy. Přehled hlavních charakteristik a parametrů je shrnut do Tab. 1.

Tab. 1 - Rozdělení krust na biologické a abiotické dle zvážené gramáže. Celková váha 0,35 g. Nad 0, 105g (30%) je krusta považována za biologickou. Parametry jednotlivých metod.

Krusta	Umístění	Biotický povrch	Abiotický povrch	Výsledné rozdělení	Povrch	3D foto	Měření Infiltrace	WDPT	Meření pomocí erozních kolíků	Eroze (cm)
1	Ema	0,00	0,35	F-CH	svah	Model	Ano	0	kolíky nenalezeny, oderodovaly	25
2	Ema	0,00	0,35	F-CH	odtoková plošina	Ano	Ano	0	kolíky nenalezeny, oderodovaly	25
3	Ema	0,01	0,34	F-CH	svah	Ano	Ano	0	kolíky nenalezeny, oderodovaly	25
4	Ema	0,03	0,32	F-CH	svah s kamínky	Ano	Ano	0	kolíky nenalezeny, oderodovaly, SEM	25
5	Ema	0,26	0,09	BIO	svah s mechem	Ano	Ano	1	kolíky viditelné 10 cm, SEM	10
6	Ema	0,25	0,10	BIO	svah s hustý mech	Ano	Ano	2	kolíky viditelné 6,3 cm	6,3
7	Ema	0,18	0,17	BIO	svah s mechem	Ano	Nelze	32	kolíky viditelné 3 cm	3
8	Ema	0,33	0,02	BIO	mensi svah s cladoniemi	Ano	Nelze	80,59	téměř nezměny, 1 cm viditelné	1
9	Ema	0,25	0,10	BIO	plošina s cladoniemi	Ano	Nelze	741,6	nezměněny	0



Obr. 5- Krusta F-CH

Foto: Bc. Jana Fiedlerová

Skupina odebraných vzorků krust č. 1-4 je zcela abiotického typu (Obr. 5). Nacházely se na svahu přecházejícího do odtokové plošiny s poměrně výraznými erozními rýhami. Zemina je štěrkovitá, tufity. Krusty jsou fyzikálně-chemického původu bez prvků bioty na povrchu. Zde byly naměřeny parametry vysoké eroze. Aluminiové kolíky, jež byly zapíchnuty k měření stupně eroze, nebyly nalezeny, neboť zcela oderodovaly. Měřené metody: Měření infiltrace pomocí infiltrometru, 3D modelace, stereoskopie, WDPT.



Obr. 6 – Krusta BIO

Foto: Bc. Jana Fiedlerová

Krusty č. 5 a 6 jsou biologické (Obr. 6). Jedná se o mechová společenstva, převážně druh *Ceratodont Purpureum*. Nachází se v mírném svahu, jsou zde menší kameny, struktura je spíše psamitická. Aluminiové kolíky byly odkryty v menší míře. Z tohoto lze usuzovat, že eroze proběhla nižší než u předchozích krust. Provedené analýzy: SEM, stereoskopie, měření infiltrace pomocí infiltrometru, WDPT.



Obr. 7 – Krusta BIO

Foto: Bc. Jana Fiedlerová

Krusty č. 7-9 jsou zcela biologického původu s poměrně vyvinutými mechovými společenstvy, kde převažuje druh *Cladonia sp.* (Obr. 7). Struktura povrchu je jílovito-písčítá, nacházejí se na biocyprisových faciích. Krusta zůstala téměř nezměněna, eroze se zde projevila velmi minimálně. Nejsou zde patrné žádné erozní rýhy, povrch je viditelný minimálně. Hustá vegetace neumožňuje provést měření pomocí infiltrace. Provedené analýzy: stereoskopie, WDPT.

5.3 Terénní metody

5.3.1 Měření eroze pomocí erozních kolíků

Množství eroze bylo měřeno pomocí instalace aluminiových kolíků v délce 25 cm, které velmi dobře měřily množství oderodovaného materiálu. Aluminium je nekorozní materiál, což bylo zcela vyhovující vzhledem k jeho životnosti. Kolíky byly instalovány vždy v páru na jednotlivá stanoviště plochy EMA tak, že byly zcela zasunuty do země a poté byla změřena část vykukujícího kolíku.

5.3.2 Využití 3D technologií

Plochy byly monitorovány v čase. K těmto účelům byla použita technika fotografování pomocí 3D technologie (Tebourbi et al., 2000). Pod pojmem 3D modelování si můžeme představit proces, kterým vytváříme v počítači virtuální trojrozměrné (3D) modely objektů a který nám umožňuje tyto modely dále prezentovat. 3D model je trojrozměrný počítačový model, který je objektově a tvarově totožný se skutečností, jedná se v podstatě o speciální počítačová data. Trojrozměrným modelem se mohou stát drobné předměty (sochy, šperky), stejně tak jako stavební památky (kapličky, kostely, hrady, zámky) či celá urbanistická území (celá města, památkové rezervace). S rozvojem nových technologií, zejména v oblasti digitální fotografie a Internetu, zde vzniká sféra nového využití trojrozměrného modelu v oblasti stavebnictví, architektury, památkové péče, urbanismu i turistického ruchu (Vrňáková, 2009).

Fotografie byly pořízeny 2x v čase. Jako nejpříznivější období byl vybrán podzim roku 2011 a jaro 2012. Mezi těmito obdobími by měla být eroze poměrně vysoká, promítá se zde totiž mnoho přírodních činitelů - déšť, sníh, slunce, jarní vegetace. Párové fotografie byly následně vyhodnoceny a vznikly z nich 3D modely. Tyto modely zhotovila firma GEO-CZ s.r.o..

Metodika tvorby 3D fotografií je založena na posunu fotoaparátu po kolejničce (Obr. 8) o 10 cm. Základem je pevný a vysoce stabilní stativ. Jako fotoaparát byla zvolena zrcadlovka značky Canon EOS 1000D.



Obr. 8 - kolejnička, stativ, fotoaparát

<http://3dfoto.wz.cz/stativ.htm>

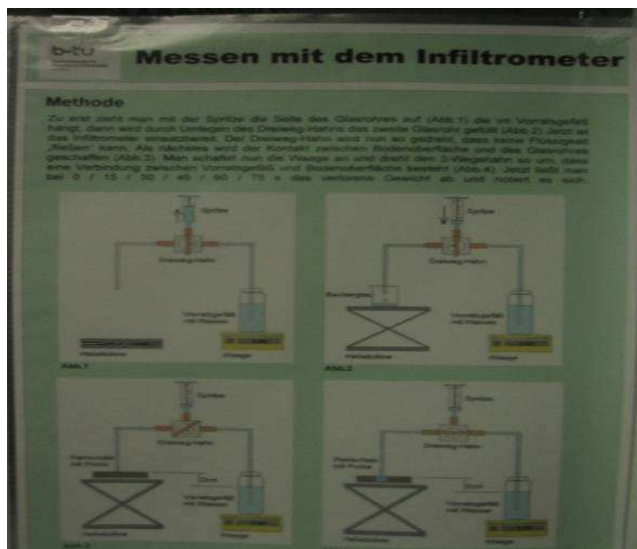
5.4 Laboratorní metody

5.4.1 Odběr vzorků

Z každé určené plochy byly odebrány vzorky krust, které byly odeslány do laboratoře Jihočeské University v Českých Budějovicích, kde se podrobily laboratorní analýze. Analýza měla za úkol ukázat, které druhy se nacházejí na výsypkách.

Každá z krust se také podrobila jednotlivým parametrickým testům. Tyto testy byly prováděny Na Brandenburg University of Technology, Faculty of Enviromental Science and Process Engeniering pod vedením Dr. Thomase Fischera.

Odebrané vzorky byly jednotlivě zváženy. Ex situ v laboratoři bylo k měření jednotlivých parametrů bylo použito metod Water drop penetration time (Doerr 1998; Martinez-Murillo a Ruiz-Sinoga 2010), měření infiltrace za pomoci dvou kapalin. V tomto měření se velmi dobře uplatní tzv. repellency index (Fischer, 2012 jak navrhuji Hallet a Young (1999). Měření se v ideálním případě provádí v rozdělení pomyslného čtverce na krustě v 5 místech, tedy uprostřed a v každé z rozdělených částí. Následně se měří čas, za jak dlouho se kapalina vsákne do krusty (Leelemaine, 2008). Principy měření (Obr. 9) a (Obr. 10).



Obr. 9 - Princip měření infiltrometru



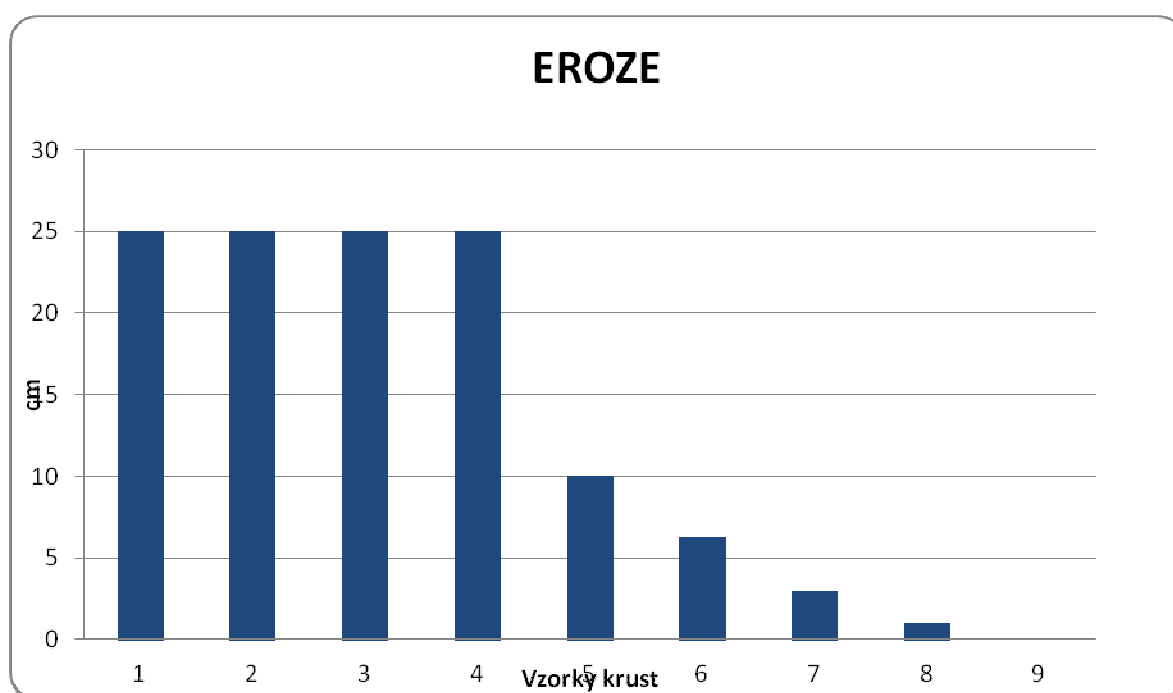
Obr. 10 - Měření infiltrace vody do krusty za použití infiltrometru

U vhodných vzorků byla provedena sekvenovací analýza elektronovým mikroskopem a následně popsáno chemické spektrum jednotlivých prvků, které se nacházely v daném vzorku (Wiehe et al., 1994). Mikroskopicky byly též zkoumány některé řasy a jiné části, které se pomocí pipety a vody smáčely a poukázaly tak na nasákavost jednotlivých rostlin a sedimentů.

6 Výsledky

6.1 Měření eroze pomocí erozních kolíků

Nejvyšší eroze proběhla u abiotických krust (více než 25 cm), signifikantně (t test $p < 0.0003$) menší eroze byla u krust biologických (Obr. 11). U krusty č. 9 neproběhla eroze žádná. Byla nalezena signifikantní negativní závislost mezi pokryvností biotické krusty a erozí měřenou pomocí erozních kolíků ($r = -0.884$, $p < 0.05$).



Obr. 11 - Znázornění eroze u jednotlivých krust. Měření pomocí erozní kolíků v délce 25 cm. Nejvyšší eroze proběhla u abiotických krust č. 1-4 (25 cm), méně u biologických krust č. 5-9.

6.2 Stereoskopie 3D krusty č. 1



Obr. 12 a, b - Párová fotografie krusty č. 1

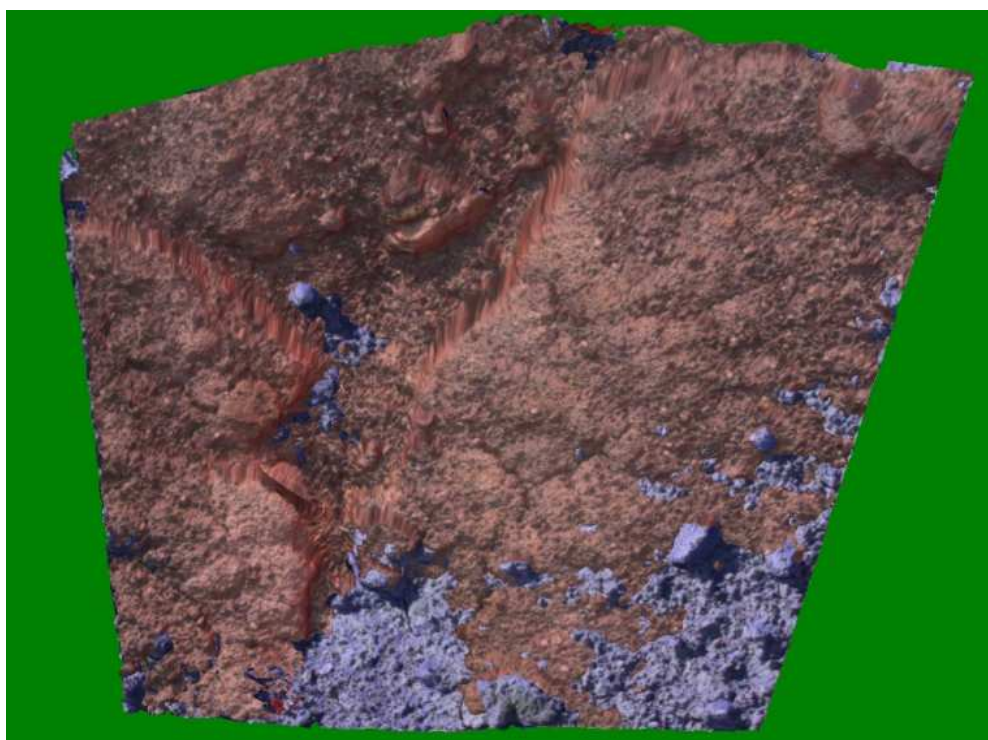
Nejvyšší erozi dle sledování pomocí fotografií prodělala krusta č. 1 (Obr. 12 a, 12 b). Na obou obrázcích lze vidět krustu, nejprve byla vyfocena první fotografie (Obr. 12 a), následuje posunutí po kolejničce o 10 cm (Obr. 12 b). Druhé focení bylo prováděno po 6 měsících. Rozdíl mezi oběma krustami je vyobrazen v následujícím modelu (Obr. 13).

Plastický 3D model (Obr. 14) znázorňuje barevně odlišený erodovaný materiál. Modře je znázorněn nový stav, červenou barvou je znázorněn stav starší, tedy materiál, který oderodoval. Obdobně je tomu i na menších dále propracovaných výřezech, kde lze sledovat i erozní rýhy (Obr. 15), (Obr. 16).

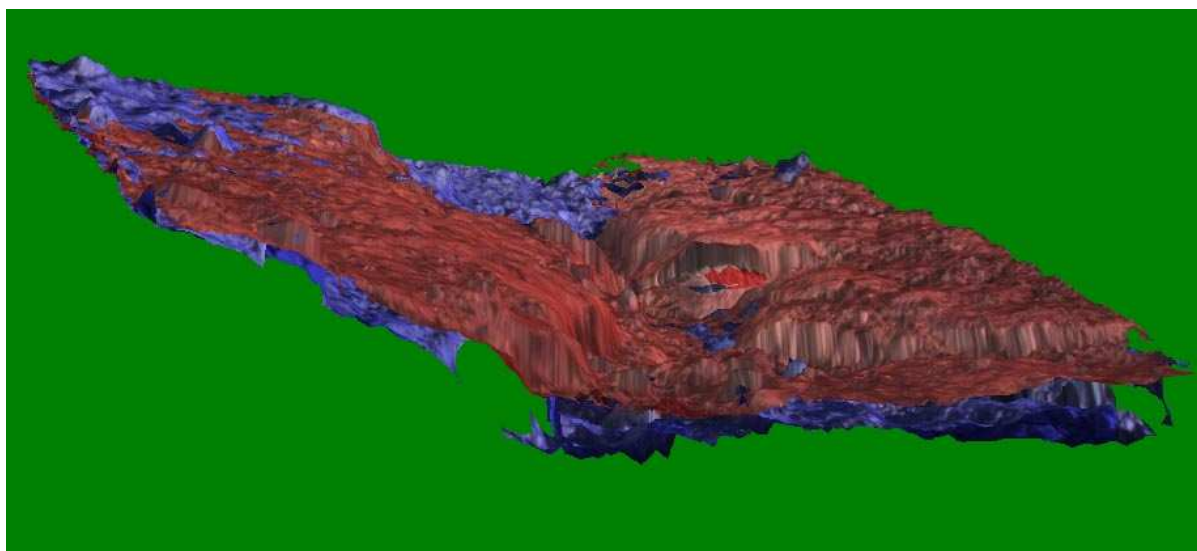
Model



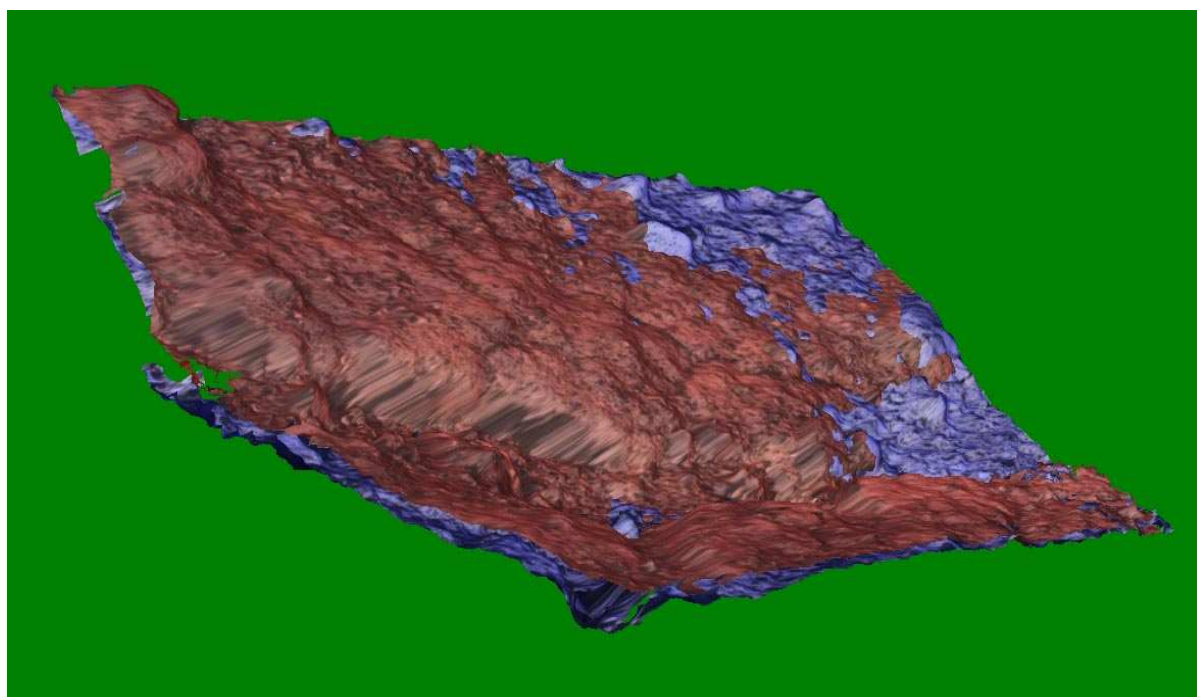
Obr. 13 - Výřez z fotografie při tvorbě 3D modelu, spojení fotografií 12a +12b



Obr. 14 - Krusta č. 1 – Plastický 3D model. Barevně odlišený erodovaný materiál. Modře je znázorněn nový stav, červenou barvou je znázorněn stav starší, tedy materiál, který oderodoval.



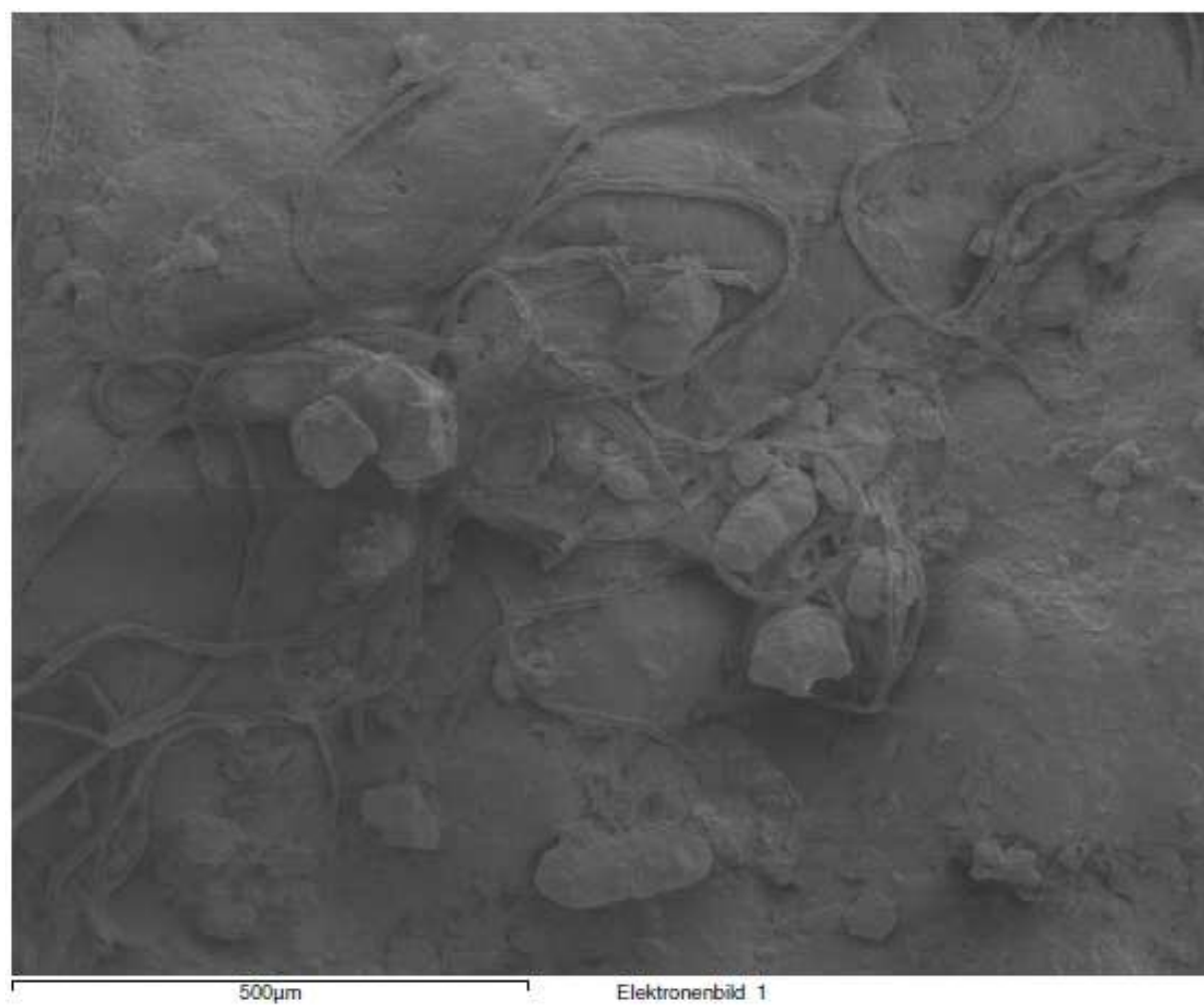
Obr. 15 - 3D Barevně odlišený erodovaný materiál byl vyříznut z předchozího modelu č. 3. Modře je vyznačen novější stav. Červenou barvou je označen materiál, jež podlehl erozi. Uprostřed patrná erozní rýha.



Obr. 16 - 3D Barevně odlišený erodovaný materiál. Model byl vyříznut z předchozího modelu č. 1. Modře je vyznačen novější stav. Červeně je označen materiál, jež podlehl erozi. Uprostřed patrná erozní rýha.

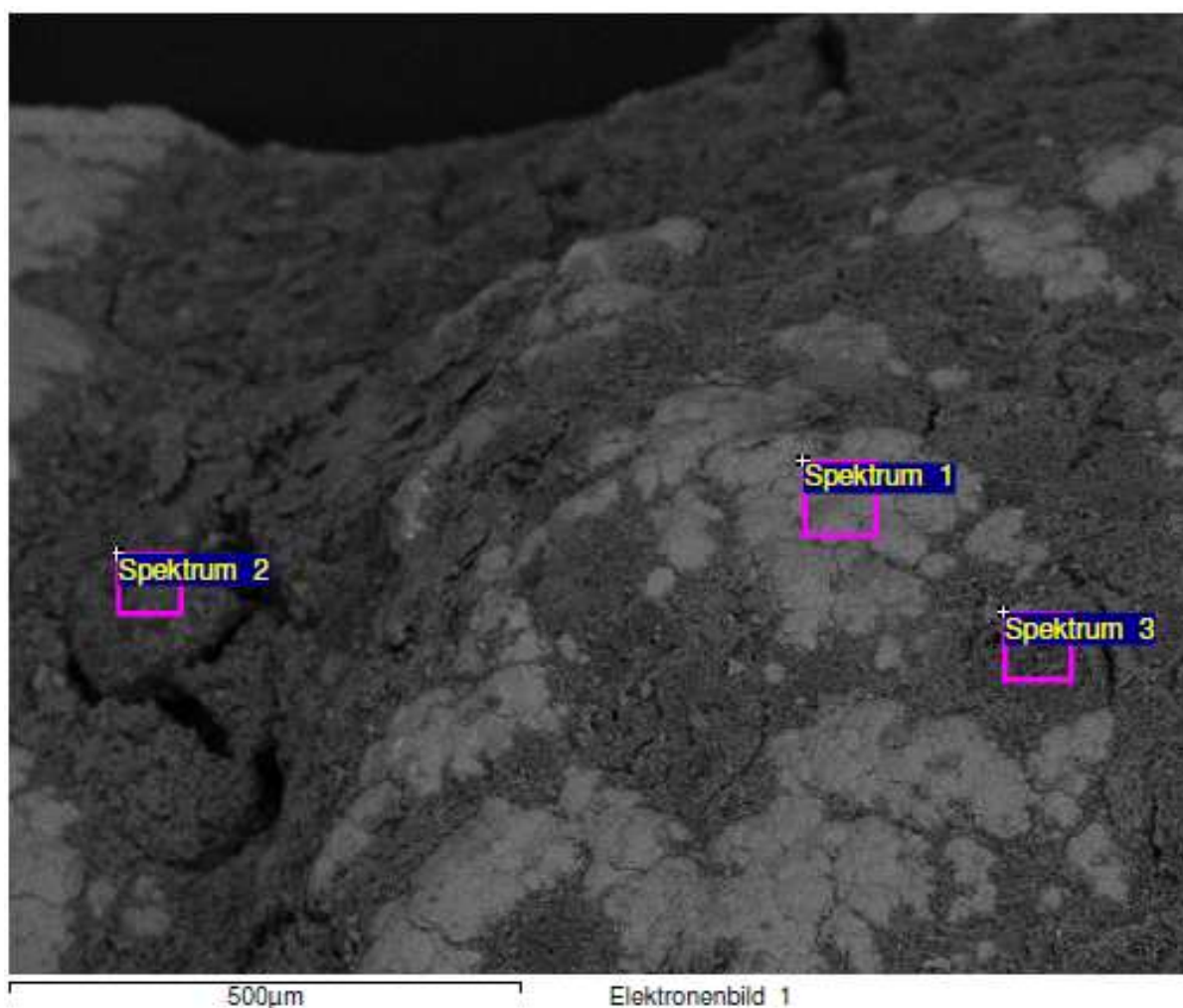
6.3 Sekvenovací elektronová mikroskopie krust a identifikace dominantních organismů biotických krust

Analýza SEM byla použita pro krusty č. 4 a č. 5. (Obr. 17). Ve výstupu lze vidět řasy s jejich stélkami. Jedná se o vláknité stélky zelených řas rodu *Klebsormidium*.



Obr. 17 – SEM – Vláknité řasy *Klebsormidium* zpevňující půdu

Ze stejného vzorku byla provedena spektrální analýza povrchu krust ze 3 rozdílných spekter (Obr. 18). Spektrum 1 obsahovalo nejvíce železa 66%, dále kyslíku 19% a uhlíku 6%. Jedná se tedy o oxidy železa. Spektrum 2 obsahovalo přes 70% hliníku, 27% kyslíku a menší množství mangnesia 3%. Spektrum 3 prokázalo nejvyšší obsah kyslíku 54%, křemíku 13%, hliníku 13%, dále kalcium, titan a železo. Poměrně široké spektrum různých prvků vypovídá o nehomogenitě povrchu i u abiotických krust.



Projekt 1 - Probe 1

10.08.2011 14:00:34

Projekt: Projekt 1
Besitzer: INCA
Bereich: Arbeitsbereich 3

Probe: Probe 1
Typ: Vorgabe
ID: 4

Prozessoption: Alle Elemente analysiert (Normalisiert)

Spektrum	In Stat...	C	O	Mg	Al	Si	Ca	Ti	Mn	Fe	Summe
Spektrum 1	Ja	5.73	19.42		3.85	2.96	0.64	1.27	0.92	65.21	100.00
Spektrum 2	Ja		26.58	3.19	70.23						100.00
Spektrum 3	Ja		54.12		13.19	12.65	1.96	10.14		7.93	100.00
Max.		5.73	54.12	3.19	70.23	12.65	1.96	10.14	0.92	65.21	
Min.		5.73	19.42	3.19	3.85	2.96	0.64	1.27	0.92	7.93	

Obr. 18 – Analýza SEM, Spektrum 1- 3

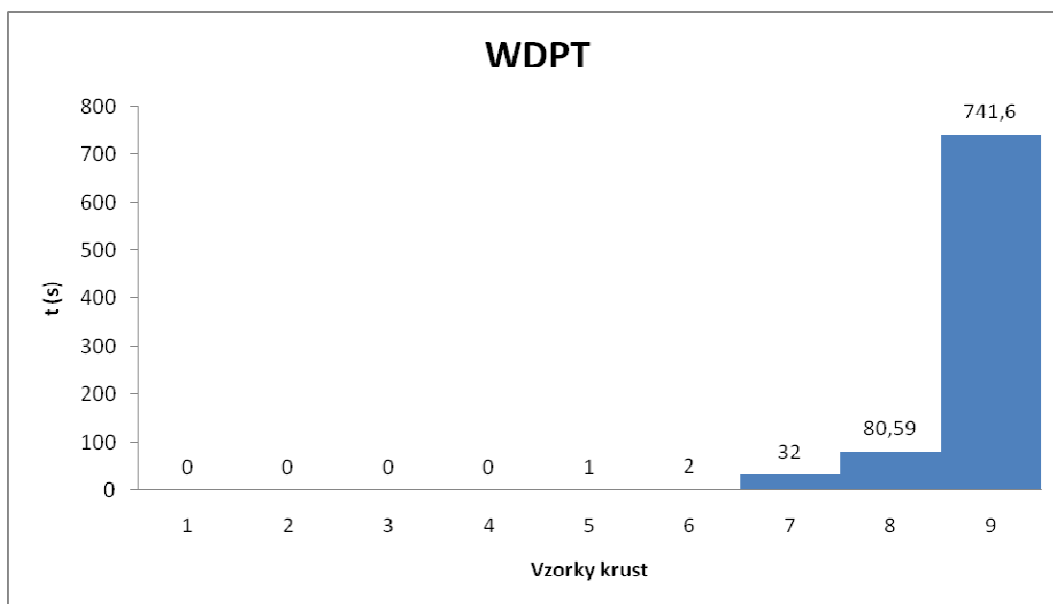
6.4 Water Drop Penetration Time

Metoda Water Drop Penetration Time (Obr. 19) byla použita na všechny vzorky krust. Nejdéle se kapka udržela na biologických krustách. Ihned se vsákla do krust abiotických (Obr. 20). Nicméně i mezi biotickými krustami byla značná variabilita a tak rozdíl mezi biotickými a abiotickými krustami je statisticky významný pouze pro log n+1 transformovaná data ($p=0.040$). Pro transformovaná data byla také nalezena signifikantní korelace mezi pokryvností biotické krusty a WDPT ($r=0.765$, $p<0.01$).



Obr. 19 - WDPT

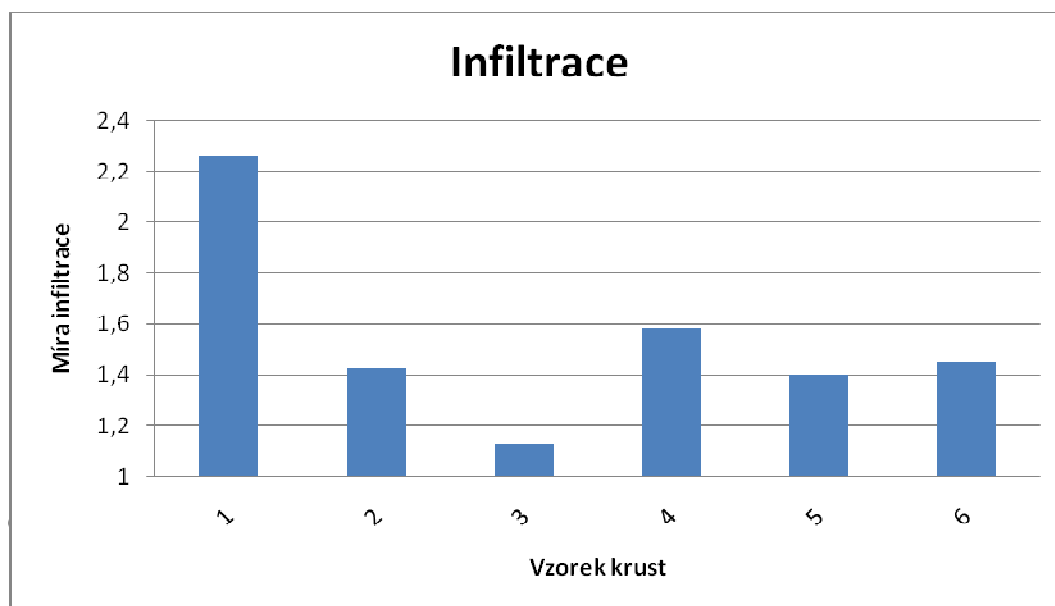
Foto: Bc. Jana Fiedlerová



Obr. 20 – Měření WDPT. Nejvíce repelentní se ukázala krusta č. 9, která je téměř plně pokryta *Cladoniemi*.

6.5 Infiltrace

Laboratorní měření infiltrace (Obr. 21) poukázalo na vyšší infiltraci krust č. 1, která zaznamenala také nejvyšší erozi, měřenou pomocí erozních hřebíků i sledováním pomocí stereoskopie. Srovnání s biologickými krustami je poněkud problematické, jelikož z důvodu pokrývnosti bioty není povětšinou možné provádět měření u biologických krust. Toto bylo provedeno pouze u krust č. 5 a 6, kde se nacházely menší volné plochy.



Obr. 21 – Měření laboratorní infiltrace. Nejvíce infiltrovala krusta č. 1, která je zcela abitoického typu, jílového sedimentu.

7 Diskuze

Práce se zaměřila na zhodnocení rozdílu mezi krustami biologickými a abiotickými a jejich vlivem na povrchový odtok a erozi. Předchozí studie (Belnap, 2003; Belnap a Lange, 2003; Fischer et al., 2010; Fischer et al., 2012), vesměs vyvozovaly, že biologické krusty snižují povrchový odtok a tedy i erozi, naproti tomu krusty abiotické ji zvyšují (Hallet a Young, 1999; Belnap a Lange, 2003; Pimentel, 2006).

U krust abiotických došlo celkově k výrazně vyšší erozi. Velmi dobře lze reprodukovat měření pomocí erozních kolíků. U krust abiotických došlo k oderodování erozních kolíků, zatímco u krust biologických eroze proběhla zcela minimální. Podobně se jevila i metoda sledování krust pomocí fotografií a následně vytvořený 3D model, který ukázal rozdíl mezi počátečním a konečným stavem v měření eroze. Předkládaná studie tedy ve shodě s dalšími autory (Onweremadu et al., 2003; Spröte et al., 2010) potvrzuje, že se zvyšujícím množstvím bioty v krustě, v našem případě stanovené jako pokryvnost biotické krusty, se snižuje eroze.

V této studii nebyl měřen povrchový odtok a proto se k druhé části postulátu výše uvedených studií lze vyjádřit jen nepřímo. Povrchový odtok závisí na drsnosti povrchu a infiltraci. Mé výsledky ukazují, že krusty sice snižují erozi, ale nesnižují infiltraci, drsnost povrchu u biotických krust je větší než u krust abiotických, nicméně se domnívám, že hlavním faktorem snižujícím erozi, je zvýšení mechanické odolnosti povrchu k působení vody díky přítomnosti krust.

Použity byly metody měření infiltrace a Water Drop Penetration Time (Leelamanie, 2008), které se obecně používají k měření parametrů krust (Doerr, 1998; Fischer et al., 2010). Metoda Water Drop Penetration Time (Martinez-Murillo a Ruiz-Sinoga, 2010) byla použita na veškeré vzorky krust a lze konstatovat, že se nejví jako příliš dobrý parametr měření. Laboratorním měřením lze totiž interpretovat pouze určitou část dat, protože krusty byly měřeny v suchém stavu, a je možné, že ve stavu mokřím bychom dosáhli poněkud jiných výsledků. Navíc měření infiltrace nebylo prakticky proveditelné u biotických krust, to ukazuje, že tato metoda není příliš vhodná pro porovnávání biotických a abiotických krust.

Abiotické krusty, kde bylo měření laboratorní infiltrace provedeno, ukázaly, že nejvyšší infiltraci měly ty krusty, které prokázaly nejvyšší stupeň eroze. Podobné výsledky dokládá (Belnap a Lange, 2003; Quiñones-Vera et al., 2009; Fischer et al., 2012).

Většina metod, jež byly v práci použity, byly aplikovány na všechny vzorky, vyjma měření laboratorní infiltrace a metody 3D. Stereoskopii nelze aplikovat na biologické krusty, nicméně obdobný výsledek byl prokázán dle měření erozních kolíků i měřením laboratorní infiltrace.

Spektrální analýza povrchu abiotických krust ukázala, že na jejich stabilizaci se významně podílejí oxidy železa, případně i dalších kovů např. hliníku či manganu. Dále se na stabilizaci podílejí patrně uhličitany a to jak uhličitany kovů tak vápníku. Srovnání s jinými pracemi je poměrně obtížné, jelikož většina autorů se zabývá převážně krustami biologickými.

Nejčastěji jmenovanými druhy, které se nacházejících v biologických krustách, jsou řasy *Microcoleus*, *Nostoc* nebo *Klebsormidium*. Nejčastěji se vyskytující lišejník *Cladonia*, z mechů lze jmenovat *Ceratodon purpureum*. Tyto druhy shodně uvádí ve svých publikacích Belnap a Lange (2003), Janatková (2011) a Lukešová (2001).

Diplomová práce prokázala, že se zvyšující se podílem biologické krusty klesá množství eroze. Dále bylo zjištěno, že krusty, které měly vyšší laboratorně měřenou infiltraci, prodělaly vyšší erozi. Výraznému snížení eroze bylo v tomto případě zabráněno především tím, že biota pokrývající povrch ho mechanicky chrání.

Na základě uvedených informací a měření lze tvrdit, že vznik půdní krusty má vliv na povrchový odtok z výsypkových ploch.

8 Závěr

Práce přinesla poznatky o vzniku a vývoji krust na Velké podkrušnohorské výsypce. Důležitým výstupem je také vliv půdních krust na erozi. Bylo zjištěno, že krusty fyzikálně-chemického typu vykazují výrazně větší erozi, naopak krusty biologické jsou erozi méně náchylné, tento jev patrně souvisí s mechanickým zpevňováním povrchu. Jelikož eroze patří mezi značný environmentální problém, domnívám se, že by tyto poznatky mohly být snad aplikovatelné např. v zemědělství nebo při samotné ochraně chráněných území.

9 Seznam použité literatury

ANONYMOUS. Rangeland Soil Quality— Physical and Biological Soil Crusts: Soil Quality Information Sheet. In: USDA, Natural Resources Conservation Service [online]. 2001 [cit. 2012-07-10]. Dostupné z: <http://soils.usda.gov/sqi/management/files/rsqis7.pdf>

AOPK: Agentura ochrany přírody a krajiny [online]. 2012 [cit. 2012-07-10]. Dostupné z: <http://old.ochranaprirody.cz/ceskestredohori/index.php?cmd=page&id=1359>

BELNAP J., LANGE O. (Eds). *Biological soil crusts: structure, function, and management; with 30 tables*. 1. ed., rev. 2. print. Berlin [u.a.]: Springer, 2002. 503 s.

BELNAP, J. The potential roles of biological soil crust in dryland hydrologic cycles. *Hydrological Processes*. 2006, č. 20, s. 3159-3178.

BELNAP, J. The world at your feet: desert biological soil crusts. *Frontiers in Ecology and the Environment*. 2003, č. 1, s. 181–189.

BOWKER, M. A. Biological Soil Crust Rehabilitation in Theory and Practice: An Underexploited Opportunity. *Restoration Ecology*. 2007, roč. 15, č. 1, s. 13–23.

BROUMOVÁ H., NOVOTNÁ K., ŠÍMOVÁ I. *Výsypka po těžbě hnědého uhlí – unikátní krajinný novotvar*. 2007, Laboratoř aplikované ekologie, Zemědělská fakulta, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

DEKKER, L. W., S.H. DOERR, K. OOSTINDIE, A. K. ZIOGAS, RITSEMA C. J. Water repellency and critical soil water content in a dune sand. *Soil Science Society of America Journal*. 2001, č. 65, s. 1667-1674.

DEMEK, J. *Obecná geomorfologie III*. Praha: SPN, 1984, 139 s.

DOERR, S.H. On standardizing the 'Water Drop Penetration Time' and the 'Molarity of an Ethanol Droplet' techniques to classify soil hydrophobicity: A case study using medium textured soils. *Earth Surface Processes and Landforms*. 1998, roč. 23, č. 7, s. 663–668.

DOSTÁL, T., KRÁSA, J., VRÁNA, K., JAKUBÍNOVÁ, A., DAVID, V., et al. *Metody a způsoby predikce povrchového odtoku, eroze a transportu sedimentu v krajině*. [Výzkumná zpráva]. Praha: ČVUT, Fakulta stavební, Katedra hydromeliorací a krajinného hospodářství, 2005, 140 s.

DOSTÁL, T., VRÁNA, K., KRÁSA, J., KOLÁČKOVÁ, J., JAKUBÍNOVÁ, A., et al. *Metody a způsoby predikce povrchového odtoku, erozních a transportních procesů v krajině*. [Výzkumná zpráva]. Praha: ČVUT, Fakulta stavební, 2004, 82 s.

ELDRIDGE, D. J., ROSENTERTER R. Morphological groups: a framework for monitoring microphytic crusts in arid landscapes. *Journal of Arid Environments*. 1999, č. 41, s. 11–25.

FISCHER, T., VESTE M., EISELE A., BENS O., HÜTTL R. F.. Small scale spatial heterogeneity of Normalized Difference Vegetation Indices (NDVIs) and hot spots of photosynthesis in biological soil crusts. *Flora*. 2012, roč. 3, č. 207, s. 159-167.

FISCHER, T., VESTE M., WIEHE W., P. LANGE. Water repellency and pore clogging at early successional stages of microbiotic crusts on inland dunes, Brandenburg, NE Germany. *Catena*. 1999, roč. 1, č. 80, s. 47-52.

FROUZ, J. *Tvorba nové krajiny na Sokolovsku*. Sokolov, Sokolovská uhelná, právní nástupce a.s., 2007, 39 s.

HALLET, P. D., YOUNG I. M. Changes to water repellence of soil aggregates caused by substrate-induced microbial activity. *European Journal of Soil Science*. 1999, č. 50, s. 35-40.

HEZINA, T. *Vliv rekultivačních prací na koncentraci manganu a železa ve výsypkových vodách a oživení malých vodních nádrží na Velké podkrušnohorské výsypce*. České Budějovice, 2001. Disertační práce. Jihočeská universita.

HOLÝ, M. *Eroze a životní prostředí*. 1. vyd. Praha: ČVUT, 1994, 383 s.

JANATKOVÁ, K. *Druhového složení půdních fototrofních mikroorganismů v závislosti na nadmořské výšce ve východním Ladaku*. Praha, 2011. Diplomová práce. Univerzita Karlova.

JANEČEK, M. *Ochrana zemědělské půdy před erozí: Metodika*. Vyd. 1. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, 2007, 76 s. ISBN 978-80-254-0973-2.

JANEČEK, M. et al. *Ochrana zemědělské půdy před erozí*. Praha: ISV, 2002, 201 s.

KACHLÍK, V., CHLUPÁČ I. *Základy geologie, Historická geologie*. Praha: Karolinum, 2005, 342 p.

KIRANMAY, S. *Impact of Coal Mining of Vegetation: A Case Study in Jaintia Hills District of Meghalaya, India*. 2005, s. 76.

KOLÁČKOVÁ, J., PAŘÍKOVÁ, P. *Využití dešťového simulátoru pro výzkum půdní eroze*. In Problematika vodního hospodářství. Praha: ČVUT v Praze, 2002. s. 15 – 18.

KOVÁŘ P., RAUCH O., KUBÁTOVÁ A., NEUSTUPA J., SOLODÁN Z., PALICE Z., DOSTÁL, P., ŠTEFÁNEK M. Ekologie obnovy narušených míst III. Cizorodé substráty v krajině. *Živa*. 2009, č. 3, s. 116-119.

LEELAMANIE, D. A. L., J. KARUBE a A. YOSHIDA. Characterizing water repellency indices: Contact angle and water drop penetration time of hydrophobized sand. *Soil Science & Plant Nutrition*. 2008, roč. 2, č. 54, s. 179–187.

LUKEŠOVÁ A., KOMÁREK J. Succesion of soil algae on dumps from strip coal-mining in the Most region (Czechoslovakia). *Folia Geobotanica et Phytotaxonomica*. 1987, č. 22, s. 355-362.

LUKEŠOVÁ, A. Algae in brown coal and lignite post-mining areas in central Europe (Czech Republic and Germany). *Restoration Ecology*. 2001, č. 9, s. 341-350.

MARTINEZ -MURILLO J. F., RUIZ-SINOGA J. D. Water repellency as run-off and soil detachment controlling factor in a dry-Mediterranean hillslope (South of Spain). *Hydrological Processes*. 2010, č. 24, s. 2137– 2142.

MIHALJEVIČ, M., MOLDAN B.. *Otázky biogeochemie*. 1. vyd. Praha: Karolinum, 2000, 105 s.

MONGOMERY, D.R. Soil erosion and agricultural sustainability. *PNAS*. 2007, roč. 104, č. 33, s. 13268–13272.

MŽP: Ministerstvo životního prostředí [online]. 2012 [cit. 2012-07-10]. Dostupné z: http://www.mzp.cz/cz/poskozeni_pudy_erozi

ONWEREMADU, E. U., F. O. R. AKAMIGBO a C. A. IGWE. Pedality And Soil Moisture Retention Characteristics In Relation To Erodibility Of Selected Soils. *Nature and Science*. 2007, roč. 5, č. 1, s. 1-7.

OSUJI, G. E., OKOM M. A., CHUKWUMA M.C. a NWARIE I. I., Infiltration Characteristics of Soils under Selected Land, Use Practices in Owerri, Southeastern Nigeria. *World journal of agricultural sciences: WJAS*. 2010, roč. 3, č. 6, s. 322-326.

PIMENTEL, D. Soil Erosion: Food and enviromental threat. *Enviroment, Developement and Suistainbility*. 2006, č. 8, s. 119-137.

QUIÑONES-VERA, J. J., CASTELLANOS-PÉREZ, E., VALENCIA-CASTRO, C. M., MARTÍNEZ-RÍOS, J. J., SÁNCHEZ-OLVERA, T., MONTES-GONZÁLES, C. A. Effect of biological soil crust on water infiltration in a rangeland. Efecto de la costra biológica sobre la infiltración de agua en un pastizal. *Terra: organo oficial de divulgación de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C.* 2009, roč. 27, č. 4, s. 287-293.

RIPL, W. Management of water cycle and energy flow for ecosystem control – the energy-transport-reaction (ETR) model. *Ecological Modelling*. 1995, č. 78, s. 61 – 76.

ROGER P.A., REYNAUD P.A. *Free-living Blue-green Algae in Tropical Soils*. Martinus Nijhoff Publisher, La Hague. 1982.

ROSENTRER R., McCUNE B.M.. *Biotic Soil Crust Lichens of the Columbia Basin*. Monographs in North American Lichenology. 2007, 105 s. Northwest Lichenologists, Corvallis, Oregon

ŘEHOUNEK, J., ŘEHOUNKOVÁ K., PRACH K. (eds.) *Ekologická obnova území narušených těžbou nerostných surovin a průmyslovými deponiemi*. 1. vyd. České Budějovice: Calla, 2010, 178 s.

SÁDLO J. Bezzásahovost takřkajíc nechtěná. Samovolné sukcesní procesy v krajině současnosti. *Ochrana přírody*, 2009, roč. 64, č. 5, s. 22 -25.

SANGÜESA, C., C. ARUMÍ, PIZARRO R. a LINK O. A rainfall simulator for the in situ study of superficial runoff and soil erosion. *Chilean Journal of Agricultural Research*. 2010, roč. 70, č. 1, s. 178-182.

SPRÖTE, R., FISCHER, T., VESTE, M., RAAB, T., WIEHE, W., LANGE, P., BENS, O., HÜTTL, R.F. Biological topsoil crusts at early successional stages on recultivated post-mining sites in Brandenburg, NE Germany. *Geomorphologie: relief, processes, environment*. 2010, roč. 4, s. 359-370.

SUMNER, M., STEWART B. *Soil crusting: chemical and physical processes*. Boca Raton: Lewis Publishers, 1992, 372 s. Advances in soil science (Boca Raton, Fla.)

SVOBODA, M. *Haldy jako důsledek hornické činnosti v území – bariéry a možnosti dalšího využití*. Olomouc, 2011. Diplomová práce. Univerzita Palackého v Olomouci, Přírodovědecká fakulta.

ŠTÝS, S. *Rekultivace území devastovaných těžbou nerostů*. 1. vyd. Praha: SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1990, 186 s.

TEBOURBI R., BELHAJD Z., ZRIBI M., BOUSSEMA M.R. 3-D soil reconstruction from binocular disparity. IEEE International Geoscience & Remote Sensing Symposium (IGARSS). 2000, s. 847 -849.

TIWARY, R. K. Environmental Impact of Coal Mining on Water Regime and Its Management. *Environment, Development and Sustainability*. 2001, č. 132, s. 185-199.

VRÁBLÍK, P., VRÁBLÍKOVÁ J., ROŽNOVSKÝ, J., LITSCHMANN, T. (eds.): XIV. *Česko-slovenská bioklimatologická konference, Lednice na Moravě 2.- 4. září 2002*, 2002, s. 647-653.

VRŇÁKOVÁ M., *Vytvoření prostorového modelu historického objektu*. Praha, 2009.

Diplomová práce. ČVUT, Katedra mapování a kartografie.

WIEHE, W., HECHT-BUCHHOLTZ CH., HÖFLICH G. Electron microscopic investigations on root colonization of *Lupinus albus* and *Pisum sativum* with two associative plant growth promoting rhizobacteria, *Pseudomonas fluorescens* and *Rhizobium leguminosarum* bv. *trifolii*. *Symbiosis*. 1994, č. 17, s. 15-31.

WISCHMEIER, W. H., SMITH, D. D.: *Predicting Rainfall Erosion Losses – A Guide to Conservation Planning*. Agr. Handbook No. 537, US Dept. of Agriculture, Washington, 1978, 69 s.